

新しい骨質診断に基づく最適形状インプラントの選択基準

課題番号 11557150

平成 11 年～平成 12 年度科学研究費補助金

基盤研究(B)(2)研究成果報告書

平成 13 年 3 月

研究代表者 赤川 安正

(広島大学歯学部教授)

はしがき

歯および歯列の欠損に対する治療法の一選択として歯科用インプラントの応用が普及するようになってきた。インプラントは骨と接触しており、負荷された咬合荷重は何ら緩衝作用を受けることもなく周囲骨に伝達される。それゆえ、インプラントの長期的な成功には骨質の客観的診断とそれに基づいたインプラントの選択が重要となる。しかしながらこの分野での科学的根拠はきわめて乏しく、臨床的判断が優先されている。そこで、骨質とインプラント周囲に達成されるオッセオインテグレーションとの関係を科学的に把握することにより、骨質に応じた最適形状のインプラントの選択基準を確立することが強く望まれる。

本研究では新しい骨質診断に基づく最適形状インプラントの選択基準の確立に成功し、その有用性が示唆されたので、本報告書を作成した。

研究組織

研究代表者：赤川 安正(広島大学歯学部教授)

研究分担者：佐藤 裕二(広島大学歯学部助教授)

研究分担者：細川 隆司(広島大学歯学部附属病院講師)

研究分担者：田地 豪(広島大学歯学部附属病院助手)

研究経費

平成 11 年度 8,300 千円

平成 12 年度 4,100 千円

計 12,400 千円

緒言

歯列の欠損に対する補綴治療として従来の冠・義歯治療に代わり口腔インプラント治療が広く臨床応用されはじめている。このインプラントの長期的な成功のためには、顎骨に埋入されたインプラント周囲にオッセオインテグレーションと呼ばれる直接的骨接触界面が獲得され、これが長期にわたって維持されることが必須の条件であると認識されている。このオッセオインテグレーションの獲得のためには、いくつかの必要条件があげられ、インプラントのデザインはその重要なひとつである。

インプラントのデザインは、その形状から現在大きくスクリュー型とシリンダー型に分けられる。前者のスクリュー型はセルフタップ機能を有して埋入後の初期固定に優れ、また、ネジ山があることにより術後早期にトラブルを起こした場合、逆回転で除去できる長所を有している反面、埋入術式にある程度の熟練を要すること、機能圧から生じる応力がインプラントのネジ山頂部や底部の鋭角な部分に集中するなどの欠点があげられている。一方、シリンダー型インプラントは、埋入窩形成の際に

タップを形成する必要がなく、槌打による埋入も容易であるなどの利点を有するものの、埋入後の初期固定に関してはスクリュー型に比較して劣るとされている。しかしながら、十分な安静状態を確保したシリンダー型インプラントはスクリュー型と大差ないオッセオインテグレーションが獲得されることが示されて以来、シリンダー型はスクリュー型とともに広く臨床に応用されている。さらに、シリンダー型インプラント表面をチタン粉末あるいはハイドロキシアパタイトで被覆することで表面積を増加させ、これらの処理によって骨内支持を向上させることも図られている。加えて、オッセオインテグレーションをより確実にするため、シリンダー型インプラント側面にグループを付与することが考案され、Gerdは同グループ内に骨を侵入させることで骨支持を増し、インプラントの回転を防止する効果も期待できるとしている。このような考えに基づいて、現在ではシリンダー型インプラントの多くに側面グループが与えられている。しかしながら、その形状は各インプラントによって異なり、どの程度の深さのグループが確実なオッセオインテグレーションに効果的であるかについてほとんど明らかにさ

れていない。

本研究では、シリンダー型インプラントに付与するグループの深さが骨支持に与える影響を明らかにすることを目指した。そこで、深さの異なるグループを持つインプラントをニホンザル顎骨に埋入、インプラント周囲の骨新生を組織学的ならびに組織形態計測学的に観察するとともに、これらの骨新生と埋入部位の骨密度との相関についても検討を加えた。

研究方法

実験動物には，本研究開始 1 カ月前より個別のゲージ内で飼育し，環境に十分順応させた雌性ニホンザル成猿（体重 7～10 kg，推定年齢 8～10 歳）4 頭を用いた。インプラントは，純チタン粉末をプラズマ被覆した純チタン製シリンダー（直径 4 mm，長さ 8 mm）表面に，0.15 mm と 0.35 mm のグループおよび 0.25 mm と 0.45 mm のグループをそれぞれ対称性に 2 個ずつ付与した 2 種類とし，それぞれを 8 本ずつ用意した（図 1）。

各動物に全身麻酔を施し，下顎両側第一，第二小白歯および第一大臼歯（以下 P_1 P_2 M_1 と略す）部に局所麻酔を行いながら，同歯を抜去した。抜歯後 3 カ月の時点で，両側無歯顎部の骨密度を骨量評価用画像解析システムである peripheral Quantitative Computed Tomography 装置（高解像度 pQCT Densiscan-2000, Scanco Medical, Zurich, スイス）（以下，pQCT と略す）を用いて測定した。

この骨密度測定の後，ステントを用いて隣在歯から少なくとも 4 mm，埋入予定の 2 本のインプラント間は 3 mm

それぞれ離れた位置になるよう両側無歯顎部の片側にそれぞれ2本ずつインプラントを埋入した。

カバースクリューを装着したインプラントの上縁が埋入窩の頬側縁と一致するように、また、インプラントに付与された2種類のグループがひとつは頬舌側の皮質骨近接部に、ひとつは近遠心側の海綿骨部に位置するよう、左右側無歯顎部に同じインプラントを槌打して埋入した(図2)。その後、同部を粘膜骨膜弁で被覆した。また、サル用固形飼料を温水にて浸漬して作製した軟性飼料を埋入直後より3ヶ月にわたる観察期間終了まで与え、インプラント埋入部へ負荷がかかることを極力避けた。

II. 観察方法

1. 肉眼的観察

インプラント埋入部の粘膜やインプラントの露出の有無などを、観察期間を通して1週間に一度観察した。

2. X線学的観察

後述の組織学的観察のために、埋入3カ月後に灌流固定した動物からインプラントを含む下顎骨を摘出したが、これを正中にて分割、この分割された各骨ブロックに対

し軟 X 線写真撮影装置 (SOFTTEX, ソフテックス, 東京) を用いて軟 X 線写真撮影を行った。得られた写真をもとにインプラント埋入部を同定し, 骨ブロック周囲をトリミングした。その後, 骨ブロックの頬側が上となりインプラントと撮影フィルム (EKTASPEED, コダック, 東京) が平行になるよう設置, デンタル X 線写真撮影装置 (コロニス, 朝日レントゲン工業, 京都) を用いて, 電圧 60 kV, 電流 2 mA, 撮影距離 45 cm, 撮影時間 0.32 秒の条件で平行法に準じ撮影し, インプラント周囲の骨を X 線学的に観察した。また, このデンタル X 線写真は, 骨密度測定の際の位置決めと, 連続水平断研磨標本を作製する基準の資料としても用いた。

3. 骨密度の測定

抜歯 3 カ月後, 動物に抜歯時と同様の全身麻酔を施した。動物の頭部を pQCT 装置のガントリー内に入れ, 予定しているスライス面が無歯顎部歯槽頂に平行になるようスカウトビューにて確認, その後頭部を固定した。次に, 管電圧 50 kV, 管電流 0.5 mA, スライス厚 2 mm, スライス間隔 2 mm の条件で頭部の断層撮影を歯槽頂部から 5 スキャン行った。得られた断層画像をもとに, インプラン

ト埋入予定部位でかつ歯槽頂から 2~4 mm および 4~6 mm 深さの部位を同定，頬舌側の皮質骨をできる限り含まない大きさをインプラントの断面形態に近い円形部を関心領域 (Region Of Interest ; 以下 ROI と略す) とした (図 3)。標本作製時に撮影した X 線写真から残存歯を基準点としてインプラントまでの距離を計測，この部位に ROI を設定して骨密度を計測した。

4. 組織学的観察

埋入 3 ヶ月の時点で，動物を 10 %中性緩衝ホルマリンを用いて灌流固定した。次いで，インプラントを含む下顎骨を摘出して正中にて切断，前述の軟 X 線写真撮影の後，これら骨ブロックを 10 %中性緩衝ホルマリンに 2 日間浸漬した。その後，各骨ブロックの軟 X 線写真撮影で得られた写真をもとにインプラント埋入部を同定，2 本を一度に観察できる標本作製すべく周囲をトリミングし，これを再度 10 %中性緩衝ホルマリンに浸漬した。次いで，インプラント周囲の骨の X 線学的観察および連続水平断研磨標本作製する基準の資料としてのデンタル X 線写真を撮影した。その後，骨ブロックをアルコール系列にて脱水，アセトンおよびスチレンモノマー (応

研商事，東京）にて 3 日間透徹，ポリエステル系樹脂（リゴラックレジン，応研商事，東京）に 2～4 日間 4℃にて浸漬し，同樹脂を組織内に十分浸透させたのち恒温槽内（60℃）で同樹脂を重合，包埋を完了した。得られたレジックブロックを，インプラントの近遠心部に約 1 mm の骨が残るよう硬組織薄切機（EXAKT - CUTTING GRINDING SYSTEM, EXAKT APPARATEBAU, Norderstedt, Germany）を用いてインプラント長軸に平行に切断した。その後，先に撮影した X 線写真をもとに水平断の 6 つの部位を決定，全てのインプラント間でグループ部分のほぼ同一部位が比較観察できるよう，カバースクリュー上面と切断面が平行になるよう水平的に切断し，6 枚の非脱灰連続研磨標本作製した（図 4）。得られた標本に Toluidine blue 染色を施し，いずれも光顕的に観察した。

5. 組織形態計測学的観察

組織形態計測は，インプラントのグループ内の骨接触率および骨面積率を測定した。

骨接触率の測定は以下のように行った。すなわち，光顕観察の終了した標本を，万能投影機（Profile Projector V-16E，ニコン，東京）上に置いて 50 倍に拡大，インプ

ラント表面に直接接触している周囲骨組織を脂肪髄や軟組織と識別しながらトレースした。このトレース像をスキャナー（ES8000，エプソン，東京）にてパーソナルコンピュータ（Power Macintosh G3, Apple Computer Inc., Cupertino, U. S. A.）に取り込んだ。次いで，画像解析ソフト（NIH Image, National Institutes of Health, Bethesda, U. S. A.）を用い，グループ内のインプラント表面の長さおよびそのインプラント表面に骨組織が接触している長さをそれぞれ測定，前者に対する後者の比を骨接触率とし，各インプラントのグループ毎に算出した。

骨面積率の測定は，骨接触率の測定と同様の画像解析ソフトを用い，インプラントを円柱と仮想した場合の外周線およびグループに囲まれた部分の全面積と同部を占める骨組織の面積をそれぞれ測定，前者に対する後者の比を骨面積率とし，各インプラントのグループ毎に算出した。

全てのインプラントにおいて得られた4種類のグループにおける骨接触率および骨面積率の平均値について，いずれも一元配置分散分析ならびに多重比較検定を行った。次いで，グループの埋入された部位とそれぞれの値

との関係を見るため、骨接触率および骨面積率のそれぞれの平均値について一元配置分散分析ならびに多重比較検定を行った。さらに、各々のインプラントにおいてグループの上部から下部にかけて得られた連続する6枚の標本について、各深さのグループが埋入された頬舌側、近遠心側毎の骨接触率および骨面積率を標本部位毎に平均し、それらの値について一元配置分散分析ならびに多重比較検定を行った。この際、上部と下部で有意差が認められた場合には、インプラント周囲の骨密度との相関係数を求め、これを回帰分析した。なお、全ての統計学的分析において有意水準は5%とした。

6. インプラント周囲骨の応力解析

4. 組織学的観察で得られた組織像から、インプラント周囲の骨構造が明らかに異なる2種類、すなわち、頬舌的骨幅が狭くインプラントと皮質骨が近接しており、インプラント周囲に海綿骨梁が比較的少ないもの（タイプ1、図5a）と頬舌的骨幅が広くインプラントと皮質骨の間に海綿骨梁が多くみられるもの（タイプ2、図5b）を選択し、Akagawaらの方法により3D-CGを作成した。これを基に有限要素モデルを作成し、インプラントの弾

性係数とポアソン比を 115 GPa および 0.35 とし，骨については皮質骨と海綿骨に 13.7 GPa の弾性係数を，それぞれに 0.35 のポアソン比を与え，モデルの近遠心端を完全に拘束し，143 N 垂直荷重をインプラント上面全体に負荷した時のインプラント周囲骨における von Mises の相当応力の分布等高線図で示した。

結果

I. 肉眼的所見

16 本のインプラントのうち，14 本は埋入後 3 カ月間，肉眼的に健康な粘膜に被覆されていた。他の 2 本では，埋入 3 週目にインプラントを覆う粘膜が裂開し，カバースクリューが露出した。これら 2 本については，その後観察期間を通して 1 週間に 1 度の割合で洗浄したところ，裂開した粘膜以外に炎症が生じることもなく，特に異常は認められなかった。

II. X線学的所見

デンタル X 線写真では，すべてのインプラント周囲に

X線透過像はなく、周囲から連続する新生骨梁が表面に接触し、良好な骨接触をうかがわせていた。カバースクリューの露出した2本のインプラントでは、インプラント頸部にわずかの楔状の骨吸収像がみられた(図6)。

Ⅲ. 骨密度計測

インプラント埋入予定部位での平均骨密度は上部では $506\sim 683\text{mg}/\text{cm}^3$ 、下部では $355\sim 517\text{mg}/\text{cm}^3$ の範囲であり、各動物の無歯顎部で特に大きな相違はみられなかった。この骨密度は、すべての埋入予定部位において、上部から下部に向かい低くなる傾向が認められた(図7)。

Ⅳ. 組織学的所見

すべてのインプラント周囲において、結合組織の介在は観察されず、直接的な骨接触界面が広い表面で得られていた(図8)。頬舌側の皮質骨近接部に埋入されたグループをみると、いずれの深さのものにおいても既存骨から連続する新生骨がグループ表面に直接接していた(図9)。近遠心の海綿骨部に埋入されたグループの場合も、皮質骨近接部と同様、周囲の骨梁と連続する新生骨梁が

いずれの深さのグループ表面にも接していたが（図 10），0.45 mm のグループ内にみられた骨の量は他の深さのグループに比べて少なかった。

グループ上部と下部とを比較してみると，皮質骨近接部ではいずれの標本部位においても周囲骨から伸びる骨梁がグループ表面に伸展しており，標本部位による骨新生の違いは認められなかった。一方，海綿骨部では，上部ではいずれの深さのグループにおいても皮質骨近接部と同様に周囲骨から伸びる骨梁がグループ表面に接していたが，下部ではグループの深さが増すにつれ，グループ内に侵入する骨が上部の場合に比べて少ないようにみえた。とりわけ，0.45 mm のグループ内の新生骨梁は下部に向かうにつれ少なくなる傾向が観察された（図 11）。

V. 組織形態計測学的所見

骨接触率は，グループの埋入された頬舌側と近遠心側で比較したところ 65.5 %～69.9 %であり，部位による違いは認められなかった（図 12）。グループ間でみると，グループの深さが増すにつれ骨接触率は小さくなる傾向がみられ，とりわけ，0.45 mm のグループの骨接触率は

64.7 %と、0.15 mmのグループの69.7 %に比べ有意に低い値を示した ($p < 0.05$) (図 12)。そこで、0.45 mmのグループの埋入された部位別に骨接触率をみたところ、頬側に比べて近心側および遠心側が有意に低い値であった ($p < 0.05$) (図 13)。グループの上部と下部とを標本部位毎に比較したところ、0.35 mmのグループと0.45 mmのグループにおいて、近遠心側ともに下部の骨接触率が上部のそれに比較して有意に低かった ($p < 0.05$) (図 14)。

骨面積率は、グループの位置する頬舌側と近遠心側で比較したところ28.3 %から38.2 %であり、部位による違いは認められなかった。また、グループの深さが増すにつれ、骨面積率は小さくなる傾向がみられたものの有意差はなく、グループが埋入された部位やグループの深さはともに骨面積率に強い影響を及ぼしていなかった (図 15)。骨面積率が最も低い値を示した0.45 mmグループについて、埋入された部位別にみたところ、頬舌側と近遠心側で有意な差は認められなかった (図 16)。各グループについて上部と下部とを比較したところ、0.35 mmのグループは近心側において、0.45 mmのグループで

は近遠心側いずれにおいても、上部の骨面積率が下部のものより有意に低かった ($p < 0.05$) (図 17)。

上部と下部で骨接触率と骨面積率に有意差がみられた 0.35 mm および 0.45 mm のグループにおいて、これらの値とそれぞれの部位の骨密度との相関係数をみたところ、骨接触率については、0.35 mm のグループで 0.85, 0.45 mm では 0.73 といずれも骨密度と有意な正の相関を示した ($p < 0.05$) (図 18)。一方、骨面積率については、0.45 mm のグループでのみ相関係数 0.73 と、骨密度と有意な正の相関が示された ($p < 0.05$) (図 18)。

VI. インプラント周囲骨の応力解析

インプラント中央での頬舌断面で見たところ、タイプ 1 においてインプラント頸部および底部の骨に、また、タイプ 2 においては頸部および底部さらには骨梁の細い部分などに大きな応力が生じていた。一方、近遠心断面でみると、インプラント頸部に大きな応力が生じていた。(図 19)

考察

1. X線学的観察について

インプラント周囲の骨の状態を確認する際、デンタルX線写真やパノラマX線写真を用いたX線診査を行うことは多い。しかしながら、それらから得られる骨に関する情報は二次元であるため、周囲の状態を正確に読み取ることが困難である。また、井上らは、インプラント周囲の骨接触状態をX線学的観察のみでは正確に評価できないと報告している。これらのことから、本研究ではX線写真はインプラント周囲への軟組織の介在や骨吸収の確認を行うために用いるのに留めた。

2. 骨密度計測について

インプラントを埋入する際、埋入部位の骨量や骨質を定量的に把握することはきわめて重要である。とりわけ、海綿骨部の骨質を予め知ることはインプラントの選択や術式を選ぶ際の助けとなる。海綿骨骨質の定量的評価法には、コンピュータ断層撮影（CT）による骨密度測定、海綿骨の骨生検の組織学的評価および切削抵抗の計測などがある。海綿骨の骨生検や切削抵抗の計測は埋入窩形

成時の診査であり、術前診査に用いることができない。

一方、CTによる方法は医科における非破壊検査で、埋入部位だけでなく周囲骨構造を三次元的に捉えられる有効な方法である。なかでも Genant らによって考案され、腰椎・大腿骨などで広く用いられてきた定量的コンピュータ断層撮影法 (Quantitative Computed Tomography; 以下 QCT) を用いれば、骨の三次元的構造を捉えられるとともに皮質骨と海綿骨を分離して定量することができ、最近では下顎骨においてもこの方法が確立されつつある。

しかし、QCT 法は被爆量が多いこと、測定時間が長いこと、装置が大きいことなどの欠点があり、これらの欠点を解消する CT として pQCT がある。この装置はコンパクトで、骨塩量の真の体積密度を再現性よく測定でき、被爆量も少ないなどの利点を有する。しかし、装置がコンパクトであるため容積の大きいものはガントリー内に入れることができず計測不能となる場合もある。サルの頭部はこのガントリー内に挿入することが十分可能であったため、pQCT の欠点は今回は問題とならなかったことから、本研究では pQCT 装置を用いた。

3. 組織学的観察について

Br nemarkらは、オッセオインテグレーションとは、生活を営む骨組織が軟組織の介在なしに接触してこの状態を持続していることと定義し、その後さらに、正常な営みを続けている骨と機能中のインプラント体表面との形態的・機能的な直接的結合であると説明している。これらの定義は、光顕レベルではインプラント周囲に軟組織が介在しない骨接触の状態を表すものと認識されている。このようなインプラントと骨の接触を確認するためには、組織学的な観察が必要と考えられる。また、インプラント周囲骨構造を三次元モデルを作成して評価したAkagawaらは、これら周囲骨構造は部位によって明らかに異なることを示し、インプラントと骨の接触状態をよく確認するためには一部分の組織的評価では不十分であることを示唆している。これらのことから、本研究ではカバースクリュー上面と平行になる連続非脱灰標本を用いることで、可及的に広い範囲での骨接触状態を観察しようと努めた。

4. 組織形態計測学的観察について

骨支持能力を計測する方法として、引き抜き（押し出し）試験、除去トルク試験などがよく用いられる。しか

し、これらの方法ではインプラント周囲組織を破壊してしまうため、界面像を観察することができない。一方、間接的に支持能力を測定する方法として、周囲組織を破壊しない非脱灰研磨標本からの骨接触率や骨面積率を測定するものがある。Johansson と Albrektsson や Sennerby らは、スクリュー型インプラントにおいて骨接触率と除去トルク値およびインプラント周囲の骨面積率と除去トルク値の間にそれぞれ正の相関があることを報告しており、また、石田は押し出しおよび引き抜き試験されたシリンダー型インプラントにおいて、周囲骨量が少ない場合にその計測値は低くなることを示した。これらの所見から、本研究では骨接触率や骨面積率は有用な指標と考え、異なったグループの比較に用いた。また、今回はグループの中にどれだけ骨が新生されたかを評価する必要があるため、異なるグループの比較が容易な二次元の組織標本での骨面積率を測定することとした。この測定の際、標本数により値が変わる可能性が考えられたが、インプラントの骨接触率の信頼性を非脱灰研磨標本数で検討した和田本らは、1本のインプラントにつき3枚以上の標本で骨接触率の平均偏差は5%以下となることを報

告しているので、本研究では、各グループにつき6枚の標本の観察から骨接触率や骨面積率を算出することとした。しかし、標本部位6では一部の標本がグループの浅くなる部分にかかり、上部と下部を比較する場合に正確な検討が行えない可能性があった。そこで、この場合には他の部位と比べ標本数の少なくなる標本部位6を除外し、標本部位5までで検討を行った。

5. X線学的観察について

観察対象としたすべてのインプラントにおいて、周囲に軟組織の介在を示すX線透過像は認められず、組織学的所見とはよく一致していた。獲得された直接的骨接触は、観察期間中よく維持されていたと考えられる。埋入後の安静期間中に被覆粘膜が裂開した2本のインプラントに楔状骨吸収が生じていた。これは、裂開したことによりインプラント周囲に炎症が起こり吸収したものと考えられるが、その吸収量は少なく、またカバースクリュー一部もしくはプラズマコートされた部分より上部に置かれた研磨されたインプラントカラー部に限局していたため、今回の実験結果には影響のないものと考えられた。

6. 組織学的所見、組織形態計測学的結果および骨密度

について

いずれの標本においても、直接的骨接触が得られていた。この所見は、チタンプラズマ被覆のインプラントを用いた Buser らの報告ともよく一致していた。また、組織形態計測の結果においても、各グループとも平均 60 % 以上の骨接触率で、チタンプラズマ被覆のインプラントにおける骨接触率に関する Gottlander らや Buser らの報告と比較して同等以上の値が得られていた。これらのことから、本インプラントがオッセオインテグレーションを十分獲得していたとみなされる。

今回のように、インプラントを皮質骨と海綿骨にまたがって埋入した場合、それぞれの部位において近接する骨の種類により骨新生に違いが出る可能性がある。しかし、違いが認められたのは 0.45 mm グループにおいてのみであり、これ以外では、海綿骨部においても皮質骨近接部に近い骨接触率が得られていた。これには、チタンプラズマ被覆した表面が細胞成分の多い海綿骨部で有利に働くことが関係していると考えられる。

0.45 mm グループが他の深さのものと違った様相を呈した理由を考えるためには、インプラント-骨界面の組

織構造に影響を与える因子を考察する必要がある、それらには、1)インプラントの材料 2)インプラントの表面性状 3)インプラントの形状 4)埋入部位の骨の状態 5)手術術式 6)荷重状態 などがあげられる。今回は上部構造物装着前のため6)は関係しない。1)と2)は同一材料を使用していることから、5)は“最小限の組織侵襲”の概念に基づいて行っていることから影響しているとは考えにくく、3)の形態すなわちグループの深さの違いと4)埋入部位の骨の状態の違いが関与していると思われた。

グループの深さによる違いを考える場合、グループ部分にどのようにして骨が形成されるかが問題となる。インプラント周囲への骨形成には骨伝導と骨誘導の二つがあるが、今回のように骨誘導を起こすものが周囲にほとんどない場合では、その主体は骨伝導とみなされる。この骨伝導はDaviesにより二つのタイプに分けられており、ひとつは、血餅から形作られる結合組織基質を通して行われるインプラント表面への骨芽細胞の移動であり、もうひとつは周囲骨からのインプラント表面への直接の骨芽細胞の移動である。今回、どちらのタイプが主に起こったかについては明らかではないが、いずれの骨伝導で

も細胞の移動距離が長くなればインプラント表面に容易に到達できない。これをふまえて考えると、3カ月の観察期間が0.45 mm グループで骨接触を得るための時間としては短かったこと、グループのような骨内の空間に伸展する骨量には限界が存在するなどの可能性があげられる。Johansson らは、インプラント埋入後3週から52週目にかけて除去トルク値を測定したところ、時間依存的に値が増加したと報告している。同様の結果は Yamanaka らによっても認められており、これらの結果は、インプラント埋入後、治癒やリモデリングが起こっている間は、時間依存的に骨接触率が増加することを示唆している。このことから、観察期間を延ばすことにより骨の新生が進み、0.45 mm グループにおいても骨の新生が得られることは十分に考えられる。一方、Wang らの骨伝導性チャンバーによる実験や、Hammerle らのシリンダー内への歯槽骨再生をみた実験などでは、作られた空間に必ずしも100%の骨が形成されておらず、周囲の骨の状態などによって骨形成に限度がある可能性も否定できない。ただし、これらの実験においても、観察期間をより延長した場合には十分な骨再生が得られることも予測でき、時間軸を

考慮する必要はある。臨床的には、下顎の安静期間とされる3カ月を経過した時点でX線学的にオッセオインテグレーションの獲得をうかがわせる所見が得られた場合、上部構造の製作に入ることが多い。それゆえ、一部分にしろ十分な骨新生が得られないような深いグループを付与することは临床上適切ではないかもしれない。

骨密度は上部が下部より高い値を示し、また 0.35 mm および 0.45 mm グループでは、上部の骨接触率と骨面積率が下部のそれに比べて高い値を示した。さらに 0.35 mm グループでは骨接触率、0.45 mm グループでは骨接触率と骨面積率において骨密度との相関が認められた。上部の骨密度が高い値を示した場合、ROI に皮質骨が含まれた状態で測定を行った可能性を考える必要があるが、今回は皮質骨部を除いた深さ 2 mm 部から計測を行ったため、この点は問題とならない。一方、上部の骨接触率および骨面積率が高くなった理由としては、埋入窩形成時のオーバーヒートにより窩底部の組織が損傷した場合と埋入窩形成時の骨片が上部に局在し上部の治癒が促進されたことが考えられる。オーバーヒートについては、“最小限の組織侵襲” の概念に基づき注水下で間歇的ドリリングを

行っているため、この点も考えにくい。また、埋入窩形成時の骨片の局在についても、埋入前に窩内を生食にて洗浄を行っているので可能性は低い。これらのことから、骨密度が骨接触率および骨面積率に影響を及ぼしたと考えた。0.15 mm と 0.25 mm においては、上部と下部との間に差が認められなかったが、これはグループが浅いため、骨密度の影響を受けるより先にグループ内への骨新生が得られたためと考えられた。しかしこれら浅いグループにおいても、より骨密度が低い所ではその影響を受け、骨新生が得られない可能性は否定できない。

グループ付与の利点のひとつとしては、骨支持の向上があげられている。この骨支持を考える上で、骨接触率および骨面積率は高いほど支持能が大きく、インプラントが長期にわたって骨接触を維持し機能圧に適応できると考えられている。また、インプラントの周囲に応力が分散し一部に集中することのないよう、骨接触状態には偏りが無いことが望ましい。これらのことをふまえた上でグループの深さを考えると、骨接触率が低下し、骨面積率も骨密度によっては低下する 0.45 mm グループを使用することは、場合によってはかえって支持能力を低下

させるかもしれない。また 0.35 mm グループにおいても、0.45 mm グループと類似した傾向がみられたことから、0.35 mm についてもその使用については十分な注意が必要である。しかし、皮質骨近接部や海綿骨部でも、骨密度の高い部位では深いグループであってもグループ内への骨新生が得られていることを考えると、インプラントの埋入部位の骨密度に応じてグループの深さを使い分けることも必要であるかもしれない。特に、シリンダー型インプラントにおいてはグループの向きを規定して埋入することが可能であるため、その部位に最も有効な深さのグループを選択して用いることが、より確実な骨支持を得られるものと考えられる。

総括

シリンダー型インプラントに付与するグループの深さが骨支持に与える影響を明らかにすることを目的として、深さの異なるグループを持つ同インプラントをニホンザル顎骨に埋入、インプラント周囲の骨新生を組織学的ならびに形態計測学的に観察するとともに、埋入部位の骨

密度との相関についても検討を加え、以下の結果を得た。

1. 全てのインプラントで良好な骨接触が得られた。また、頬舌側の皮質骨近接部分と近遠心側の海綿骨近接部分での骨接触には明らかな組織学的相違はみられなかった。

2. 骨接触率は、0.15 mm から 0.45 mm の深さの順に 69.7 ± 5.1 , 68.9 ± 7.7 , 67.7 ± 7.5 , 64.6 ± 6.5 % であり、0.45 mm グループの接触率は 0.15 mm のそれに比較して有意に低かった ($p < 0.05$)。

3. 骨面積率は 23.0 ± 13.4 から 41.2 ± 22.7 % の範囲にあり、グループの深さやグループの埋入された部位において有意な差はなかった。

4. 0.35 mm グループと 0.45 mm グループにおいて、近遠心側ともに上部の骨接触率が下部のそれに比較して有意に高く ($p < 0.05$)、これらの骨接触率は同部骨密度と有意な正の相関を示した ($p < 0.05$)。

5. 0.45 mm グループでは近遠心側でいずれも上部の面積率が下部より有意に高く ($p < 0.05$)、これらの骨面積率は同部骨密度と有意な正の相関を示した ($p < 0.05$)。

6. インプラント中央での頬舌断面で見たところ、タイ

プ1においてインプラント頸部および底部の骨に、また、タイプ2においては頸部および底部さらには骨梁の細い部分などに大きな応力が生じていた。一方、近遠心断面で見ると、インプラント頸部に大きな応力が生じていた。以上の結果より、シリンダー型インプラントのグループの深さにより骨接触の様相が異なること、さらに、埋入部位の骨密度によっては、0.35 mm グループでは骨接触率を、0.45 mm のグループでは骨接触率および骨面積率を低下させることなどが明らかとなり、また、シリンダー型インプラントに垂直荷重が負荷された場合の周囲骨における応力分布が明らかとなったことから、新しい骨質診断に基づく最適形状インプラントの選択基準の基礎が出来上がったと言える。

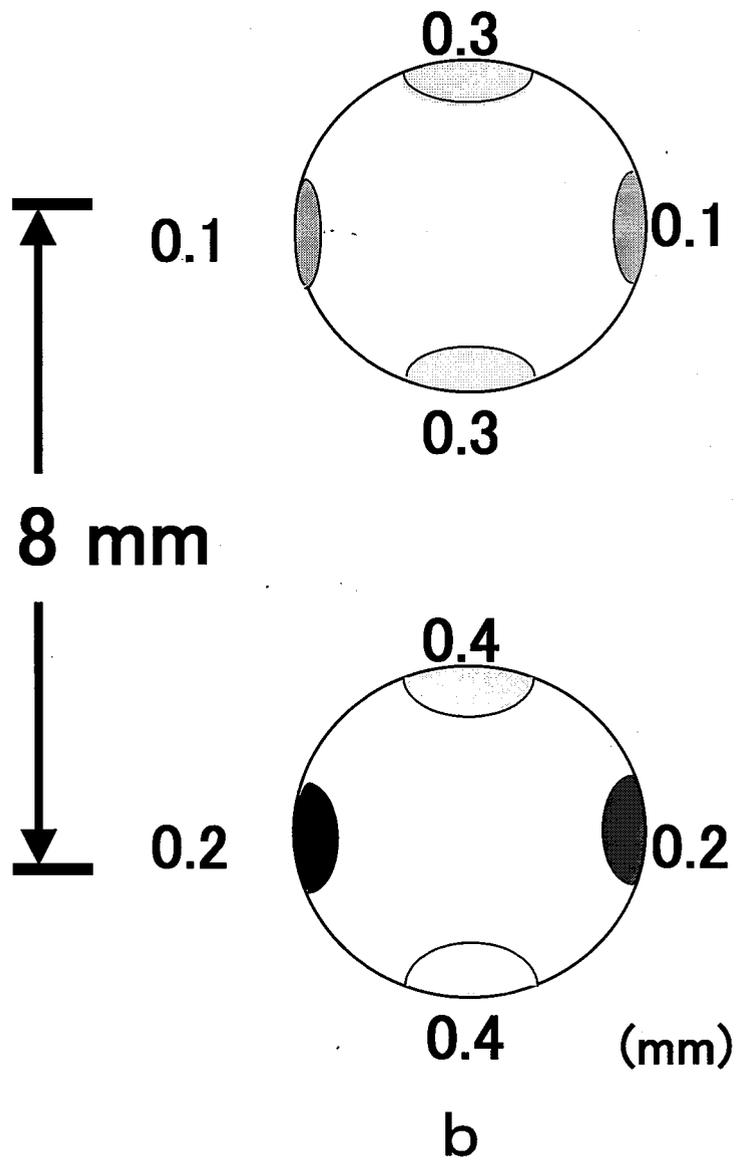
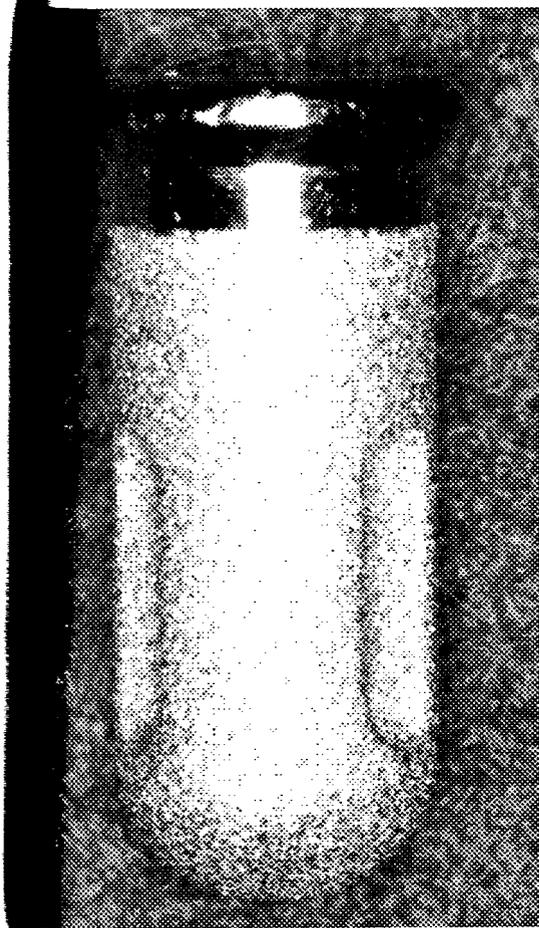


図1 インプラントと付与したグループ

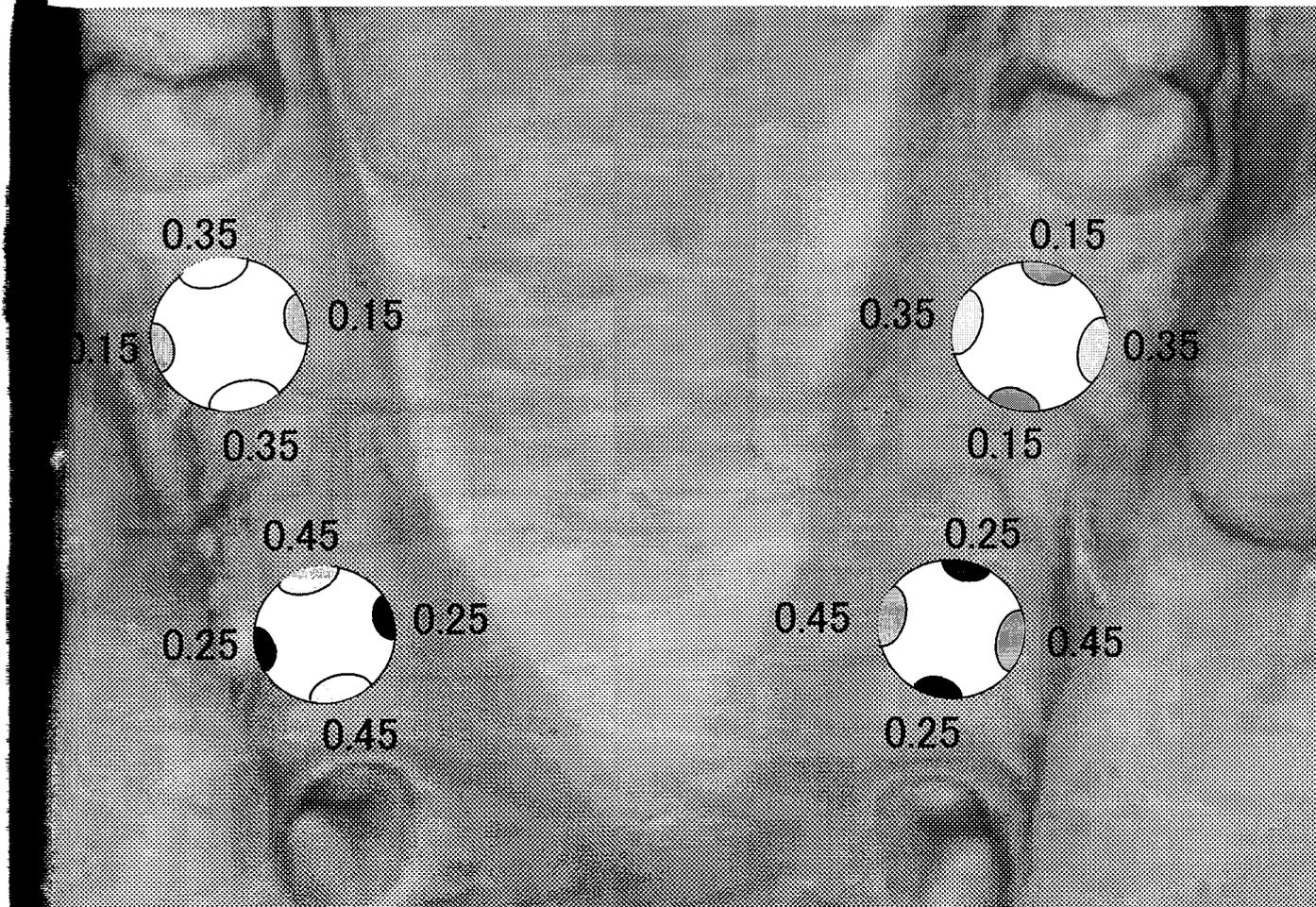


図2 インプラントの各グループの埋入位置

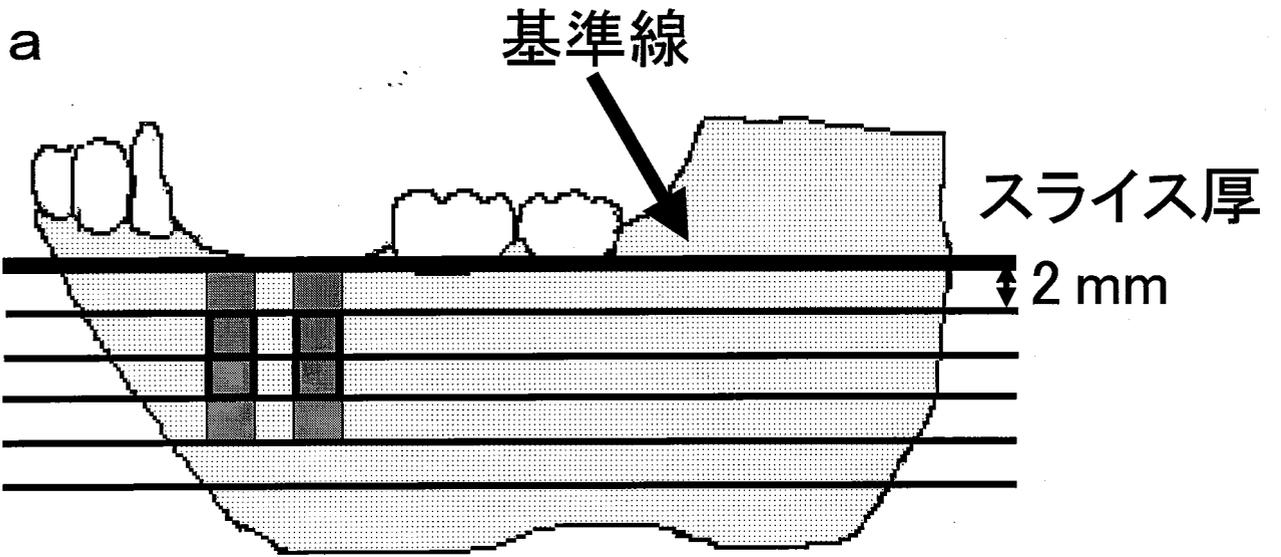
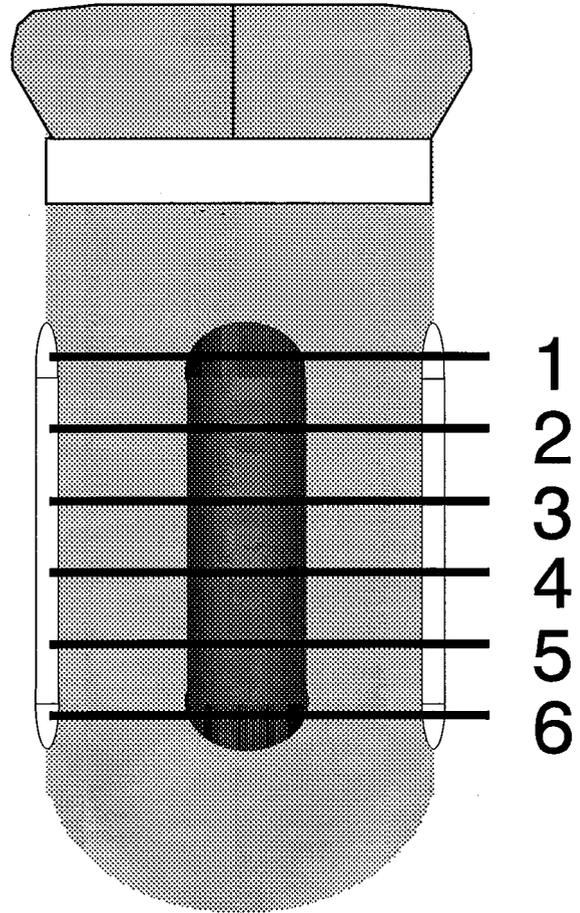


図3 スキャン部位の設定



a



b

図4 連続する研磨標本の部位



図5 骨構造の異なる代表的な2例

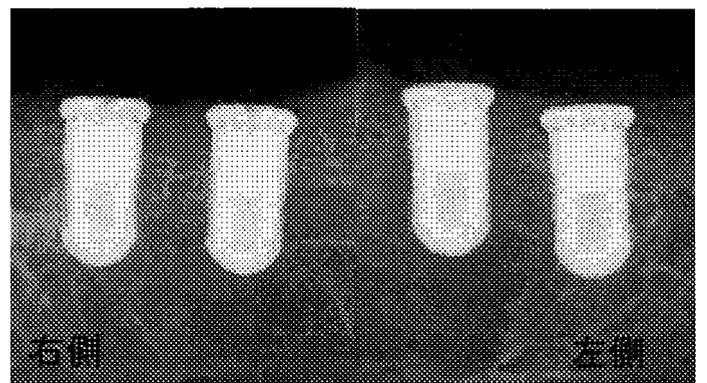
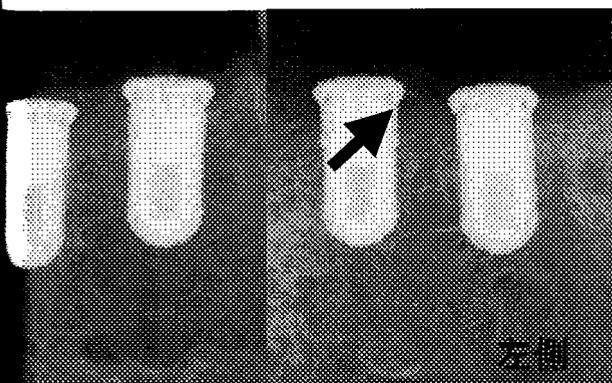
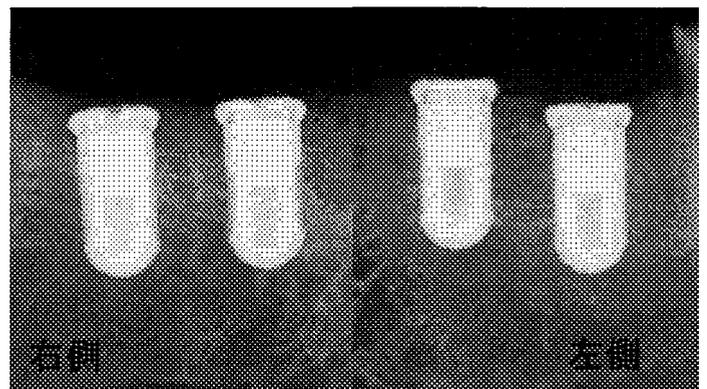
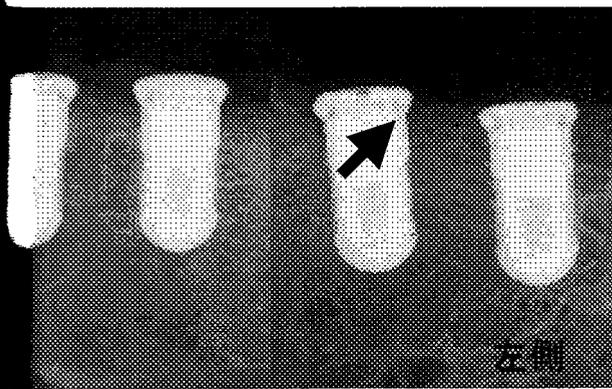


図6 観察期間終了時のインプラント周囲のX線写真

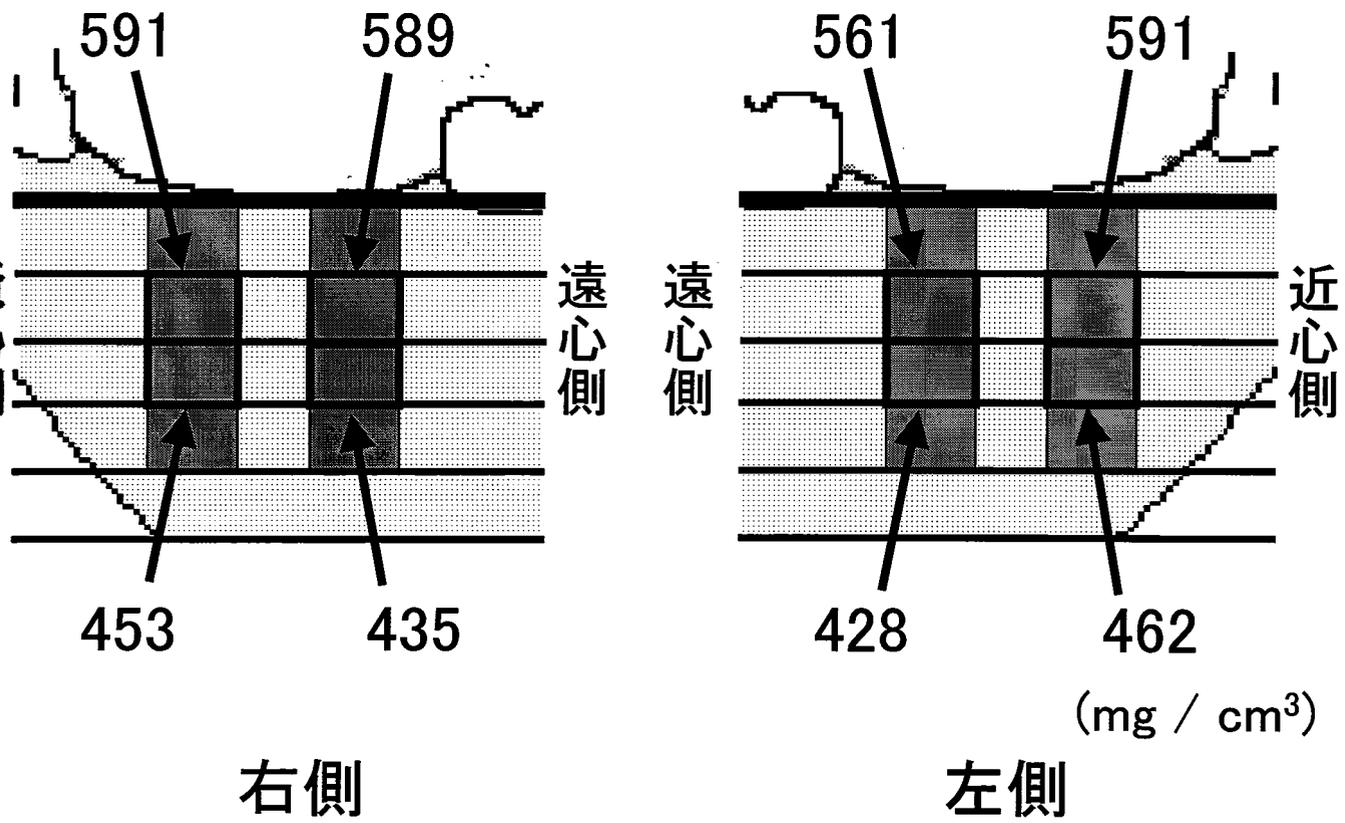


図7 インプラント埋入予定部位の平均骨密度

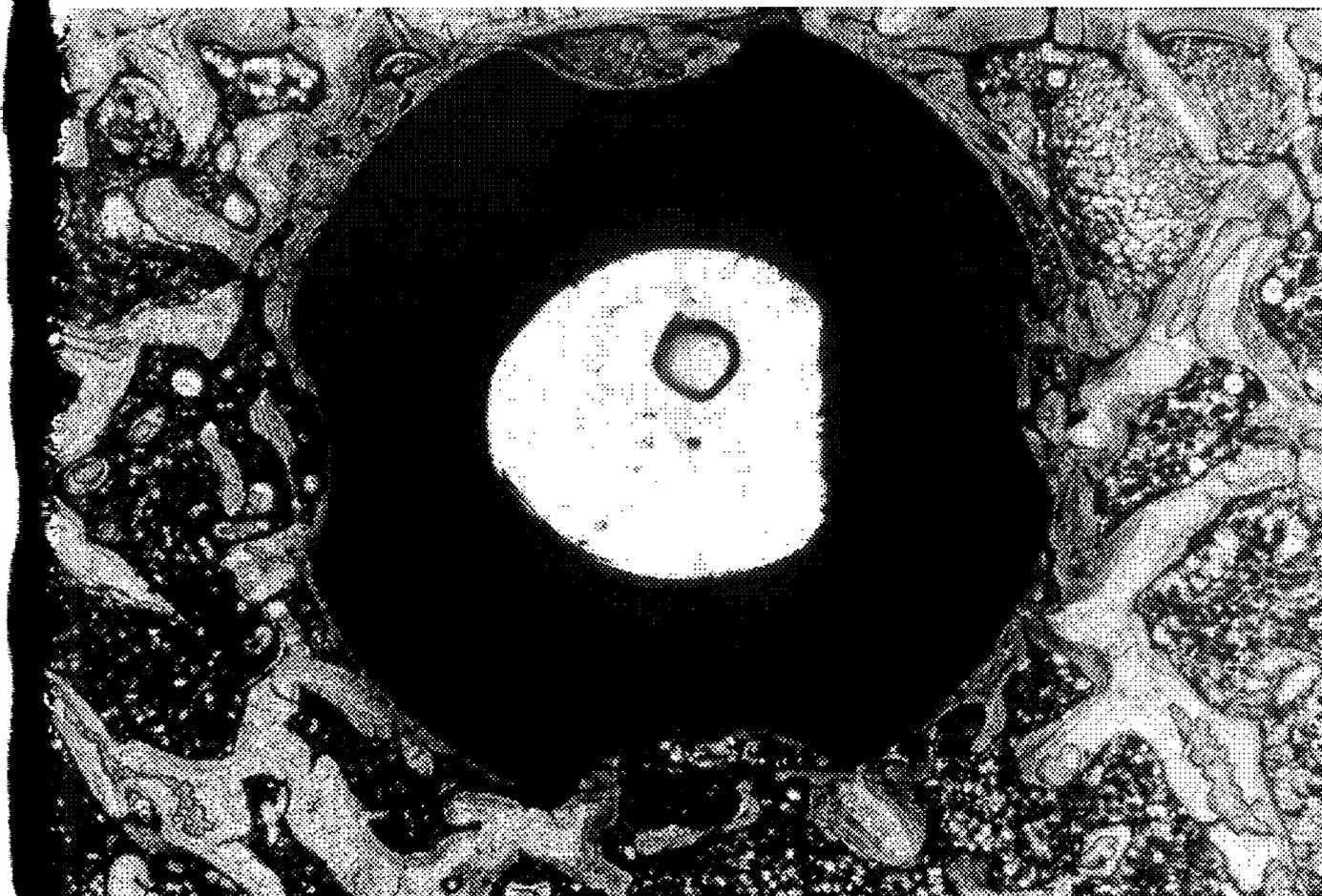
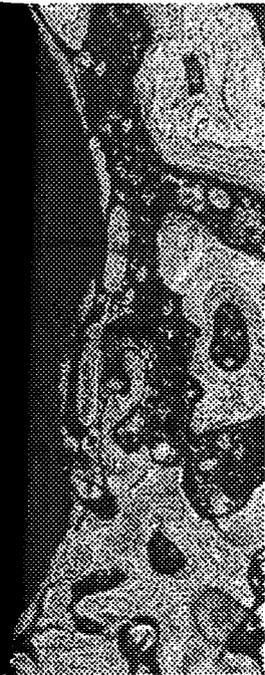


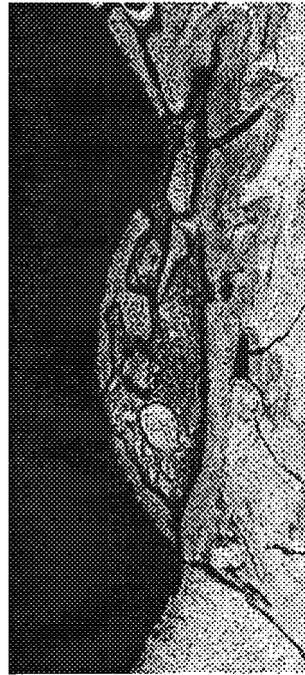
図8 インプラント周囲の骨組織像



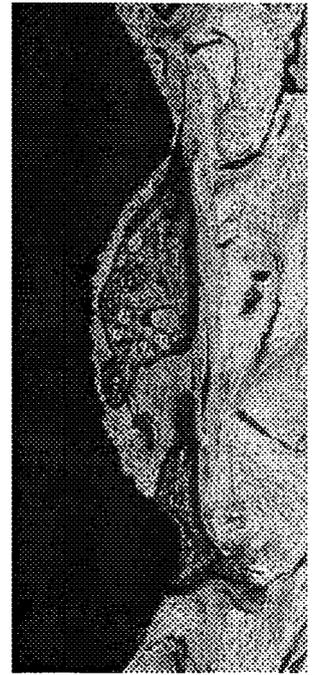
0.15



0.25



0.35

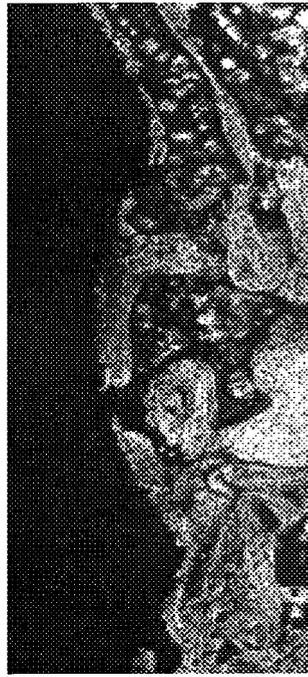


0.45
(mm)

図9 皮質骨近接部における各グループにみられた骨接触状態



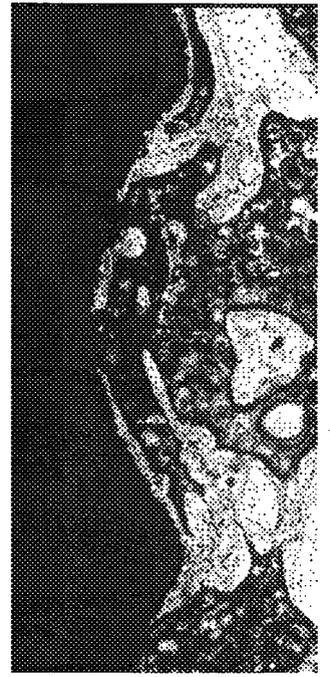
0.15



0.25



0.35



0.45
(mm)

図10 海綿骨部における各グループにみられた骨接触状態

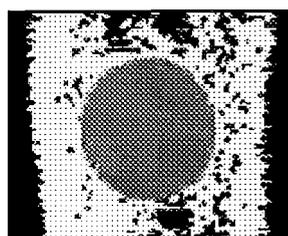


a

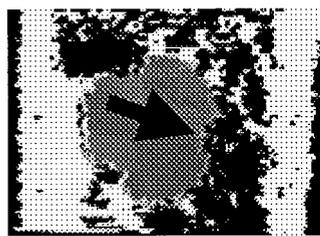


b

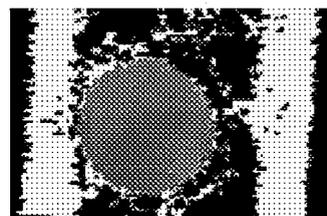
1
2
3



1



2



3

c

図11 0.45 mmグループの海綿骨上部と下部の骨接触状態

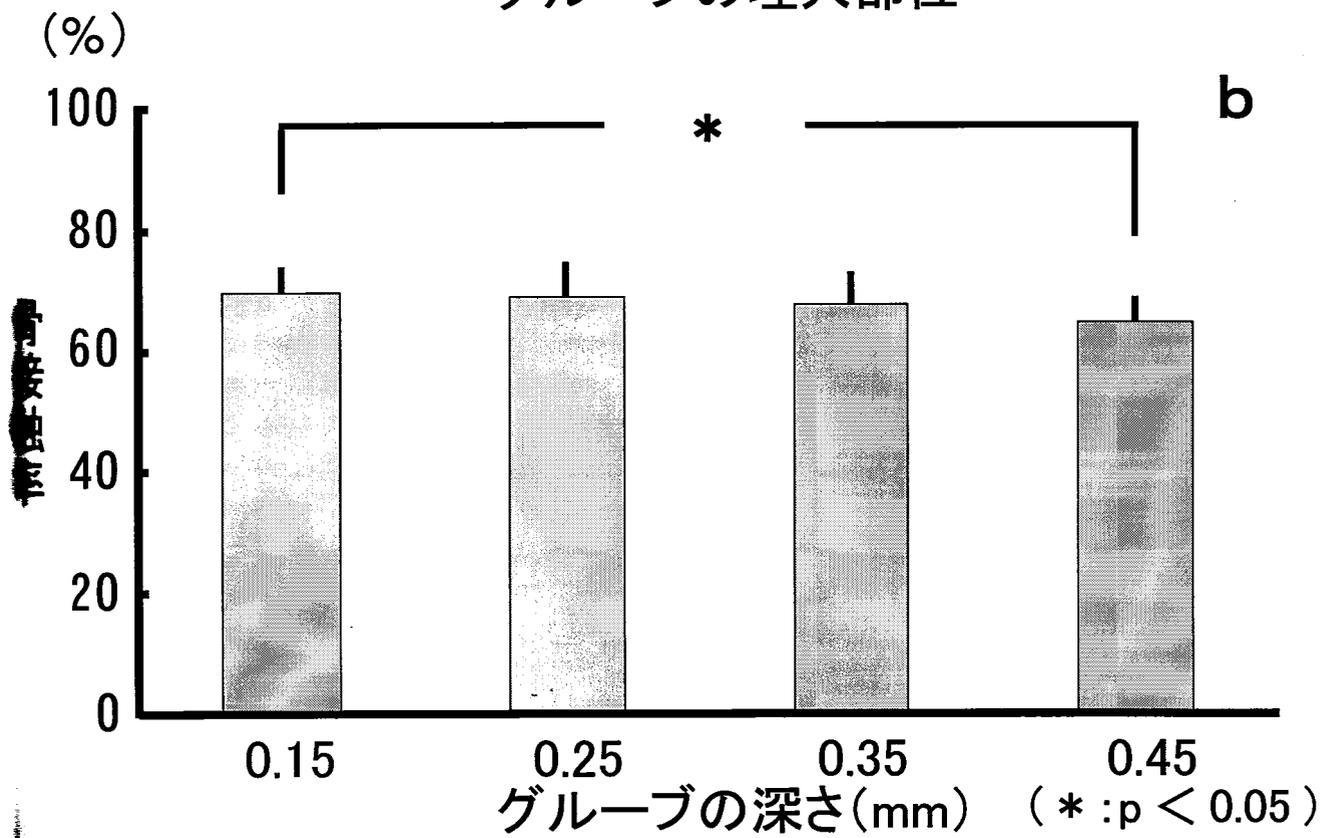
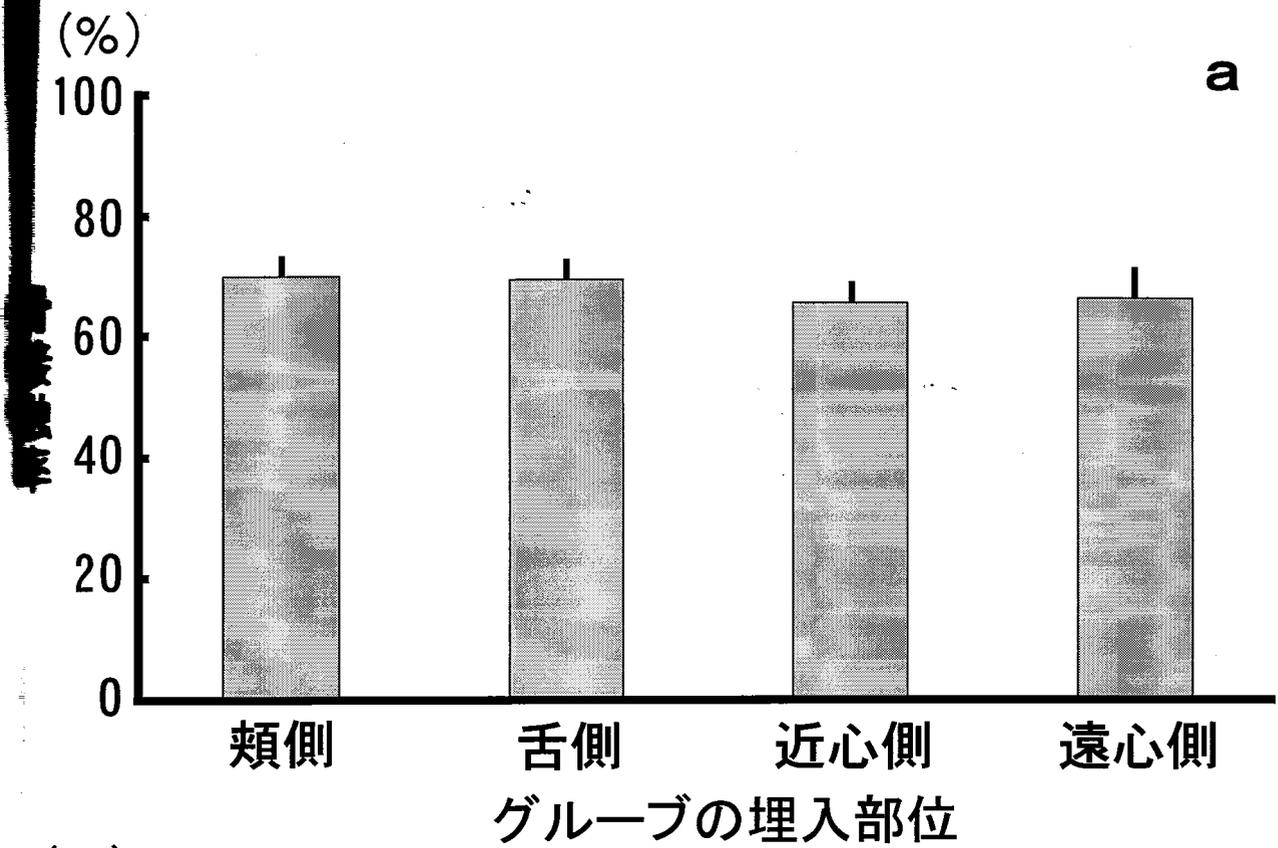


図12 骨接触率

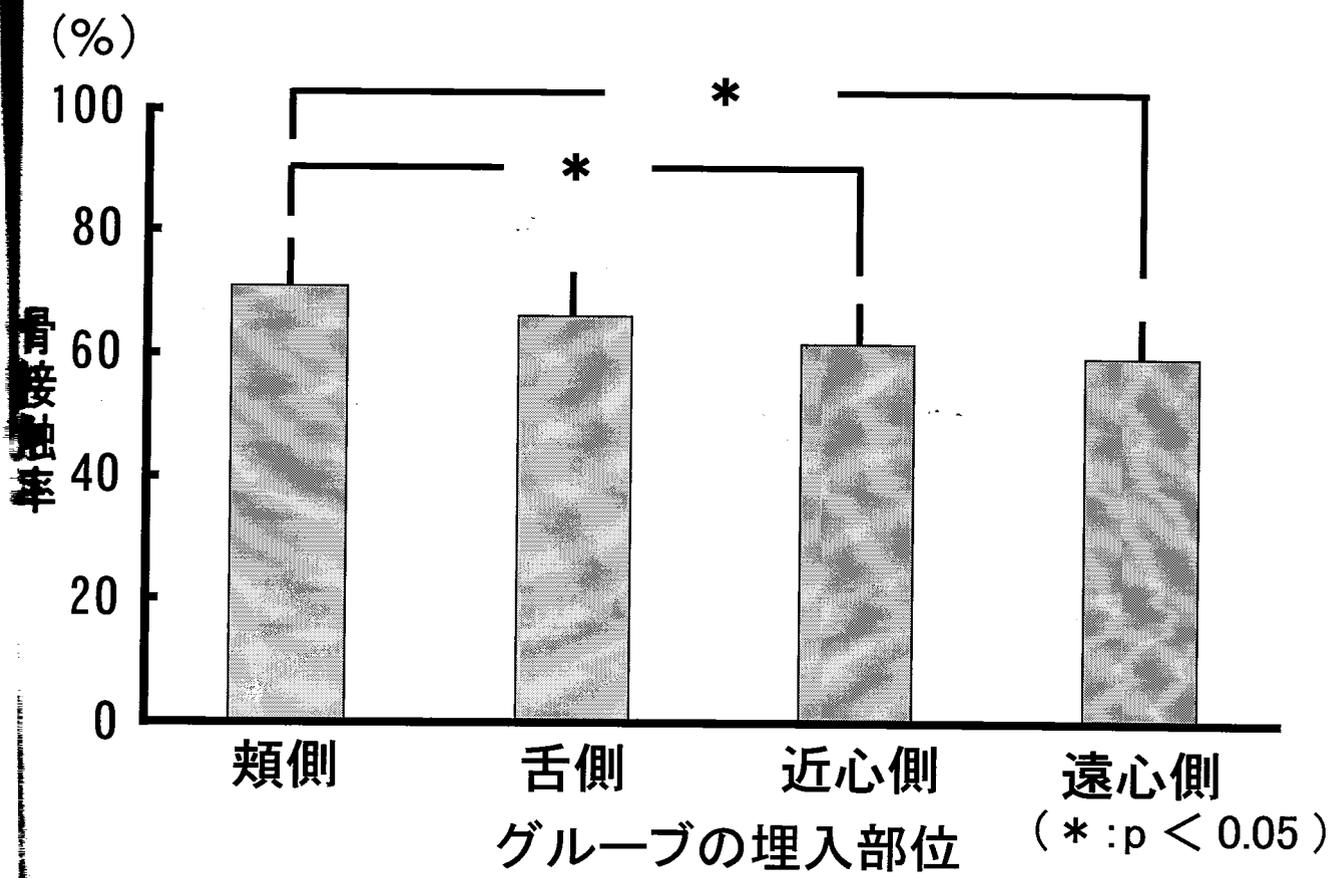
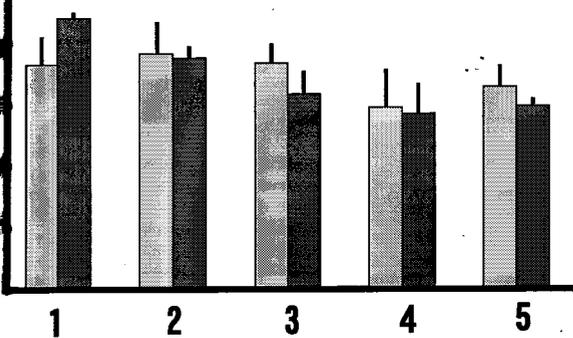
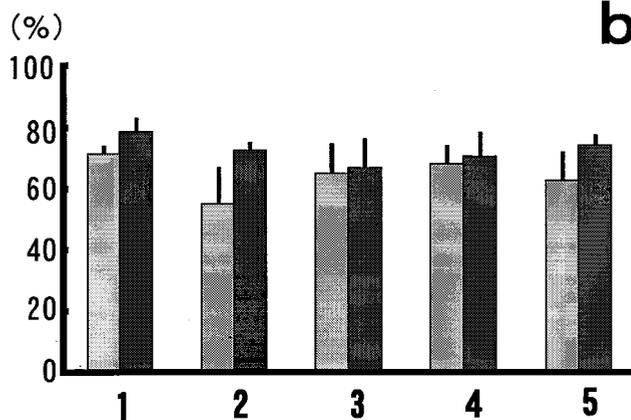
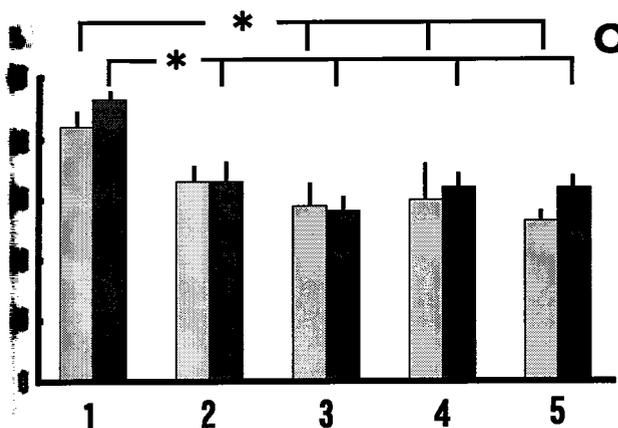
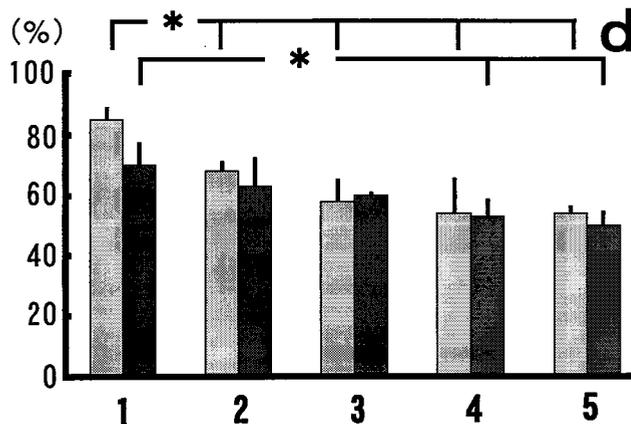


図13 各グループにおける標本部位毎の骨接触率

a**b****c****d**

(* : p < 0.05)

図14 各グループにおける標本部位毎の骨接触率

a: 0.15 mmグループ

b: 0.25 mmグループ

c: 0.35 mmグループ

d: 0.45 mmグループ

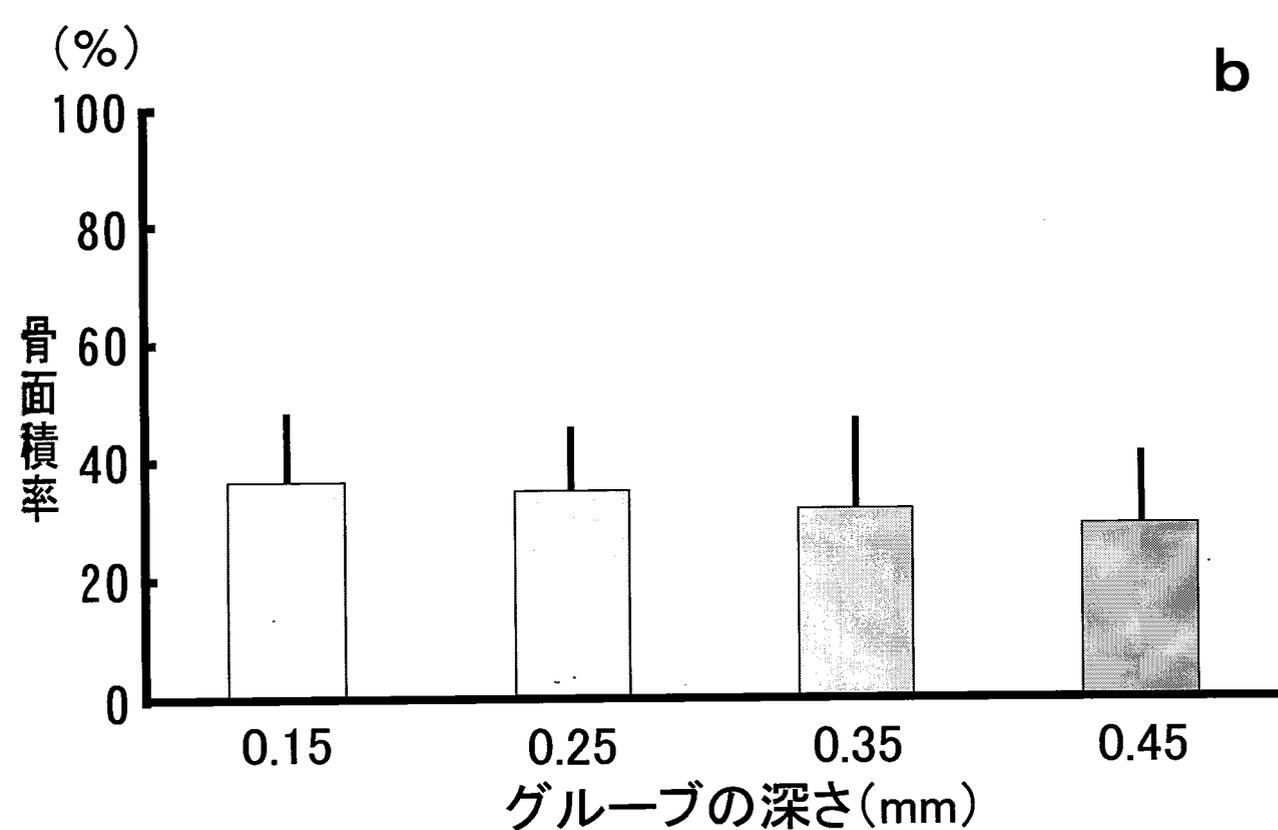
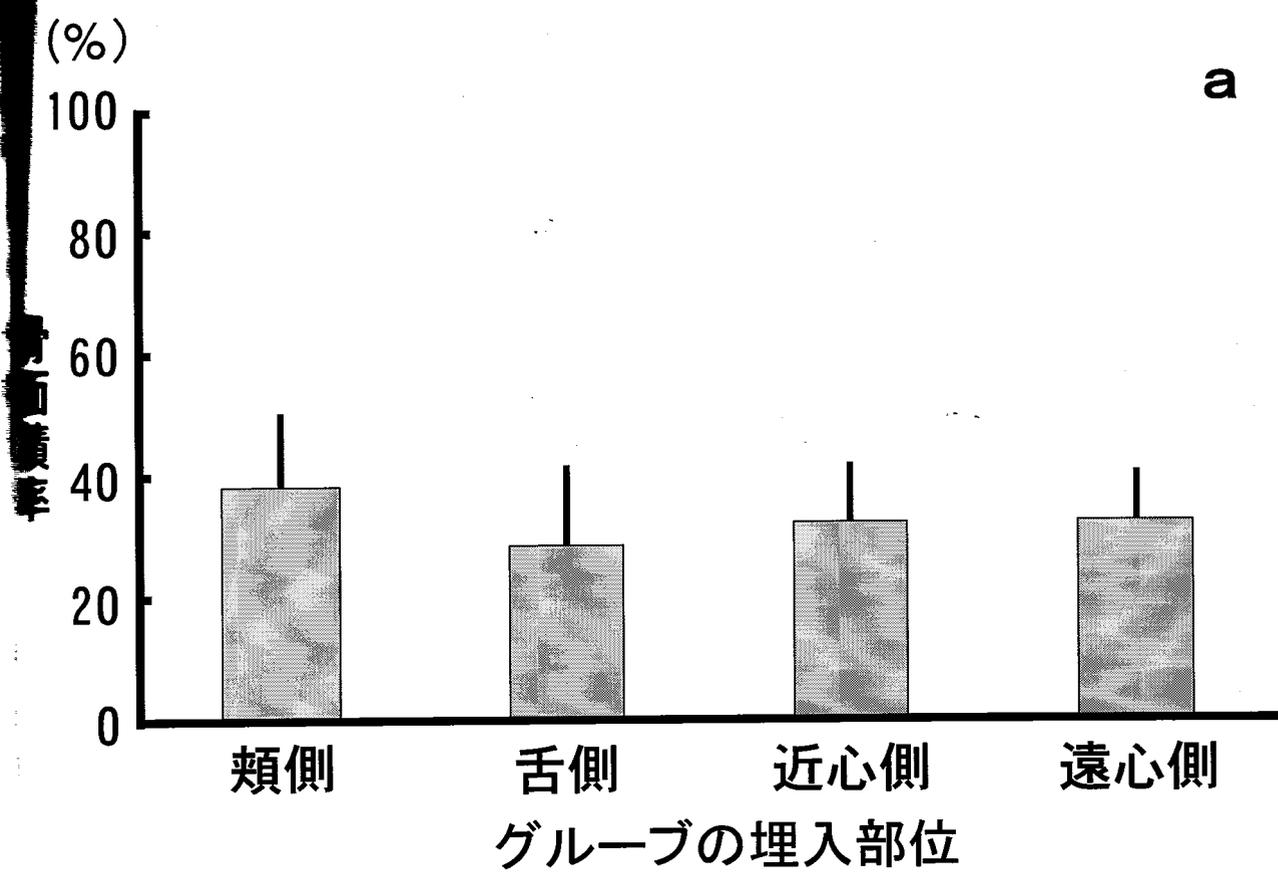


図15 骨面積率

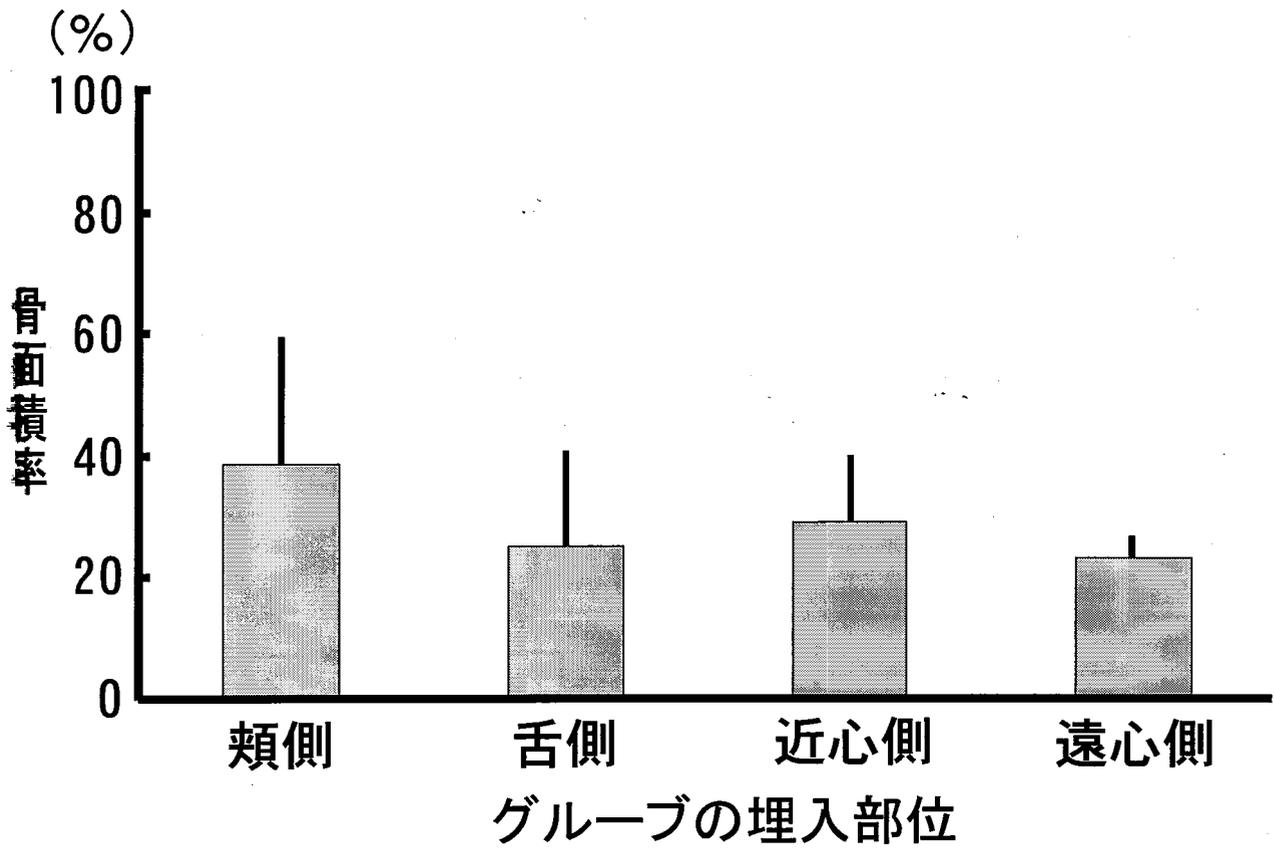


図16 0.45 mmグループにおける骨面積

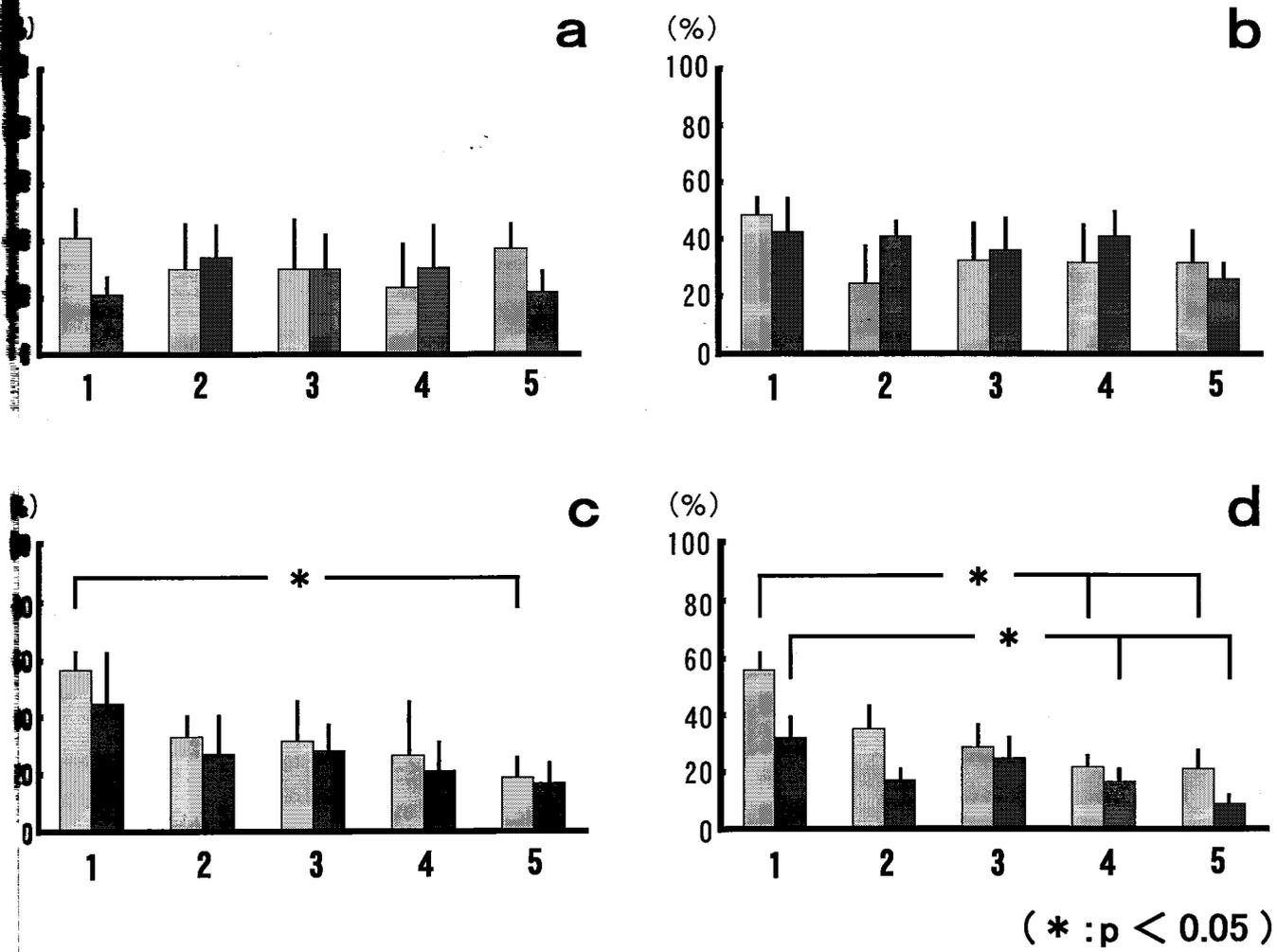


図17 各グループにおける標本部位毎の骨面積率
 a: 0.15 mmグループ
 b: 0.25 mmグループ
 c: 0.35 mmグループ
 d: 0.45 mmグループ

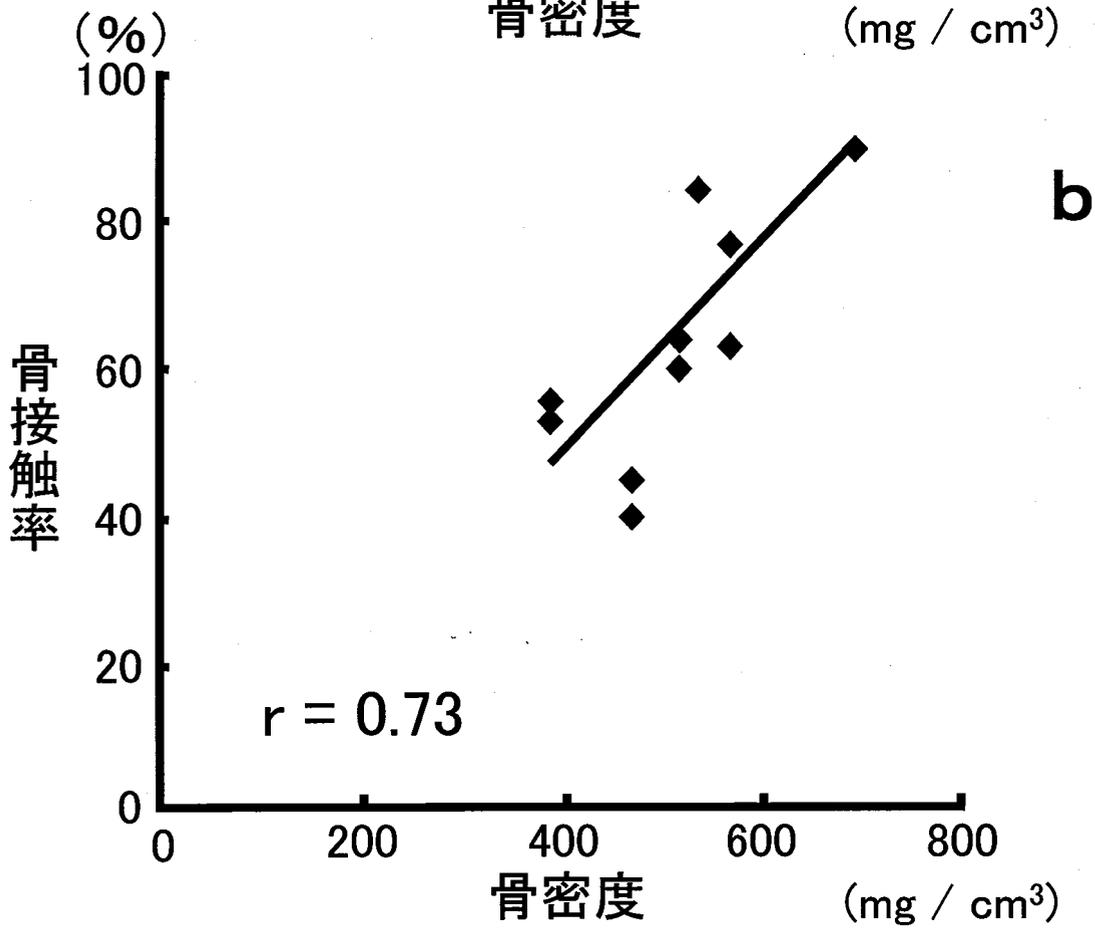
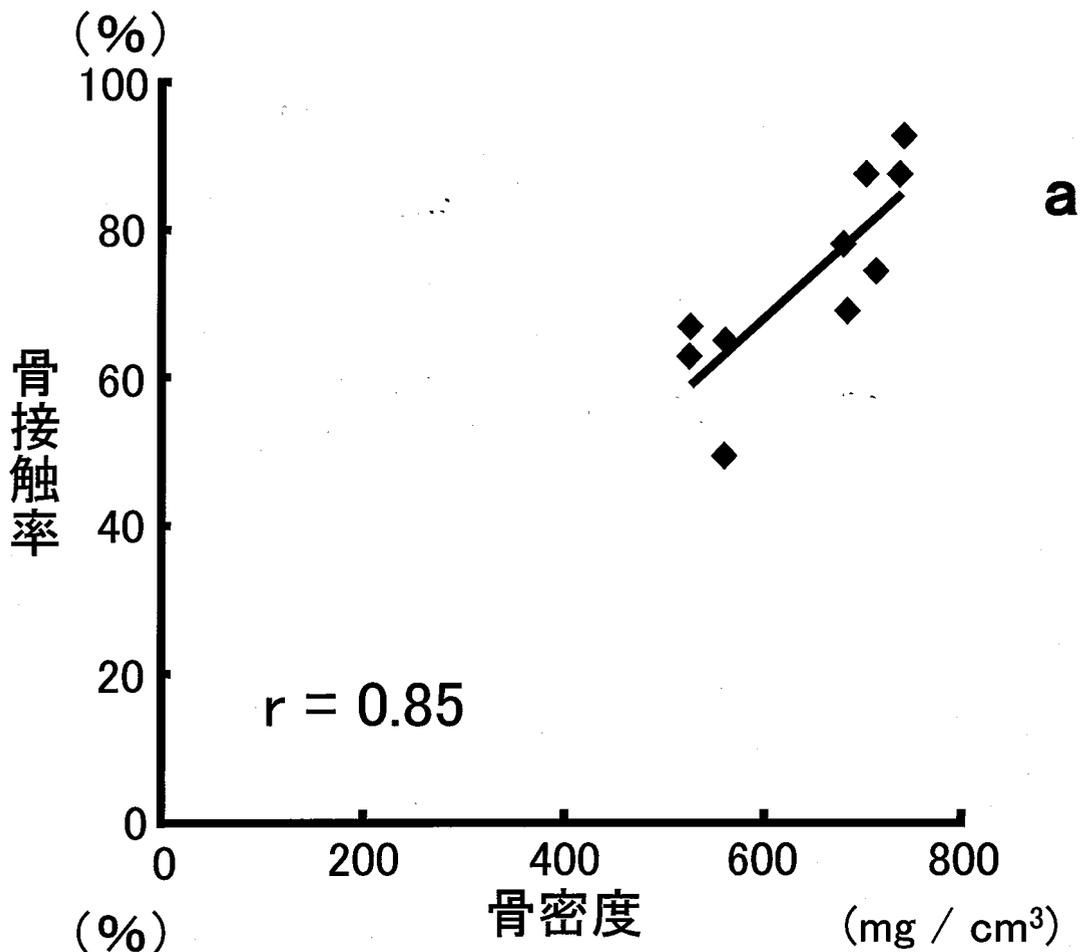


図18 骨密度と骨接触率との相関

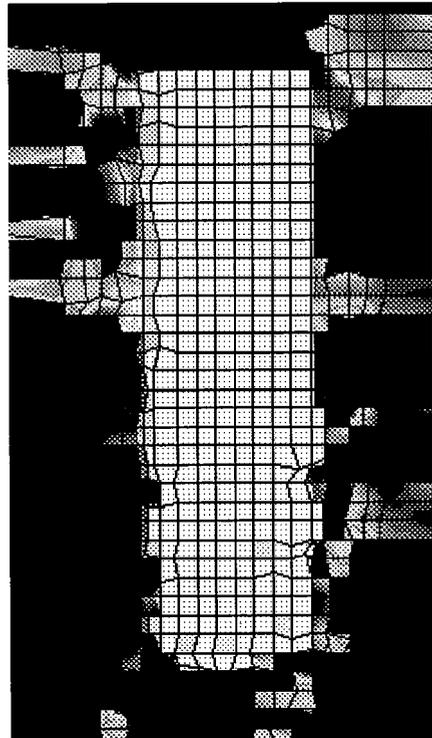
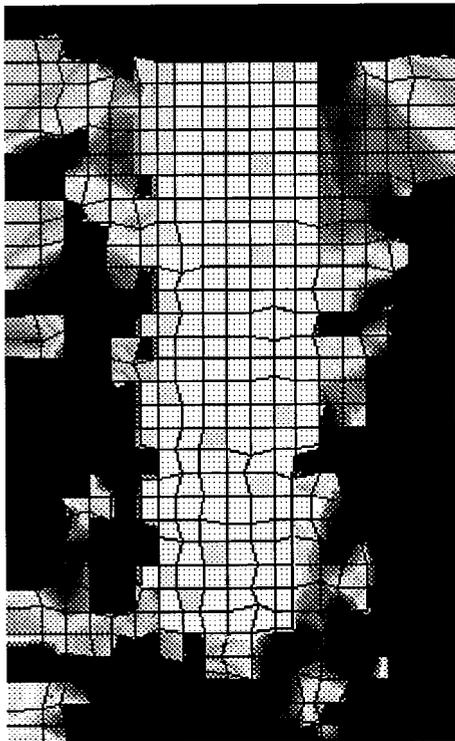
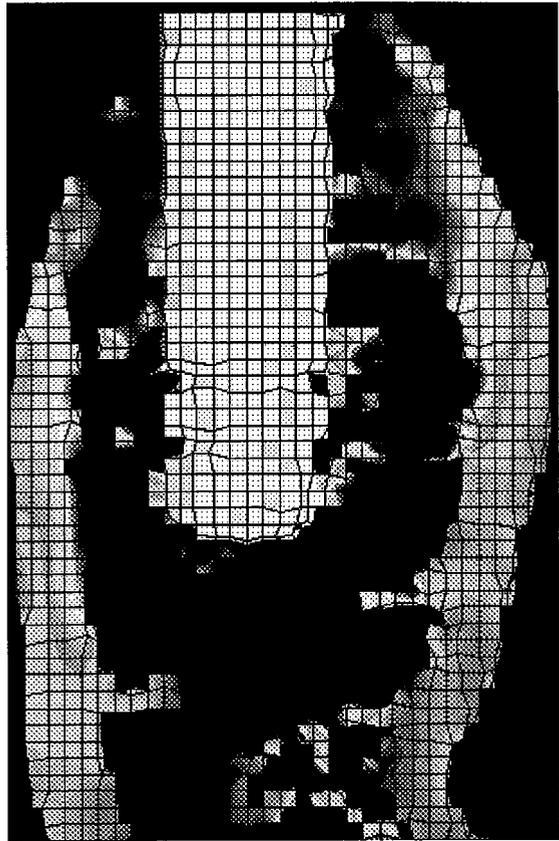
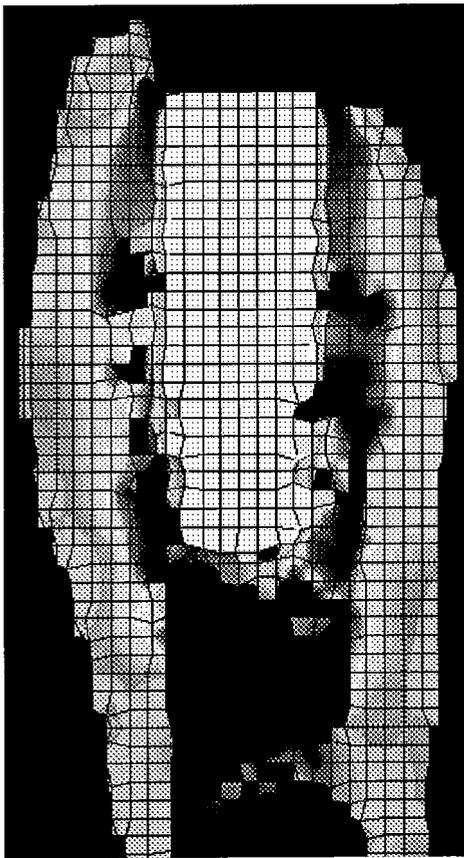


図19 インプラント周囲骨における応力

研究成果の発表